

# Static micro mixer for producing emulsions and gas-liquid dispersions has a housing with fluid inlets, a fluid outlet and plates stacked in the housing

**Publication number:** DE19927556 (A1)

**Publication date:** 2000-12-28

**Inventor(s):** EHRFELD WOLFGANG [DE]; MICHEL FRANK [DE]; HESSEL VOLKER [DE] +

**Applicant(s):** INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE] +

**Classification:**


**- international:** *B01F13/00; B01F5/06; B01J19/00; B01F3/02; B01F3/04; B01F3/08; B01F13/00; B01F5/06; B01J19/00; B01F3/00; B01F3/04; B01F3/08; (IPC1-7): B01F5/06*

**- European:** B01F13/00M; B01F5/06B2B; B01J19/00R

**Application number:** DE19991027556 19990616

**Priority number(s):** DE19991027556 19990616

**Also published as:**

 DE19927556 (C2)

## Abstract of DE 19927556 (A1)

Static micro mixer has a housing (10) with fluid inlets (12a, 12b), a fluid outlet (13) and plates (20, 21, 22) stacked in the housing. The plates have recesses in the millimeter to sub-millimeter range which form a main channel for removing the product and sub-channels for introducing each individual educts extending through the stack. An Independent claim is also included for a process for the mixing two or more educts using the above mixer. Preferred Features: The main channel is arranged central along the axis of the stack and the sub-channels are arranged outside around the main channel.



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 27 556 A 1

51 Int. Cl. 7:  
B 01 F 5/06

21 Aktenzeichen: 199 27 556.4  
22 Anmeldetag: 16. 6. 1999  
43 Offenlegungstag: 28. 12. 2000

DE 199 27 556 A 1

71 Anmelder:  
Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,  
DE  
74 Vertreter:  
Fuchs, Mehler, Weiß, 65189 Wiesbaden

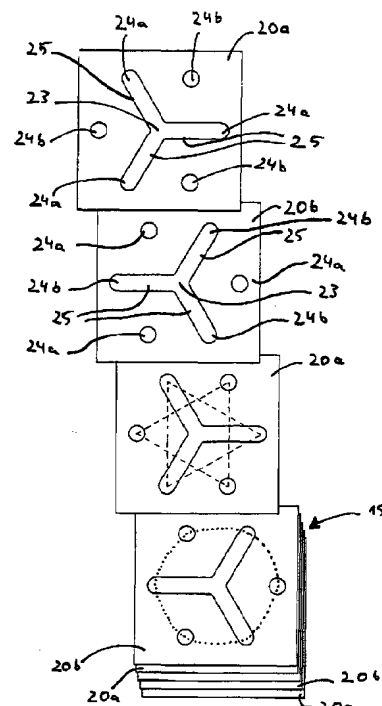
72 Erfinder:  
Ehrfeld, Wolfgang, Prof. Dr., 55124 Mainz, DE;  
Michel, Frank, Dr., 55268 Nieder-Olm, DE; Hessel,  
Volker, Dr., 65510 Hünstetten, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Statischer Mikromischer

57 Mikromischer dienen dem Mischen von Edukten und werden beispielsweise zusammen mit Wärmetauschern als Mikroreaktoren verwendet. Die herkömmlichen statischen Mikromischer nutzen das Prinzip der Multilamination aus, um ein schnelles Mischen über Diffusion zu erlauben. Der Fluiddurchsatz, der bei herkömmlichen Mikromischern sehr begrenzt ist, soll erhöht werden. Außerdem soll die Homogenität des Mischprodukts erhöht werden. Der statische Mikromischer für zwei oder mehr Edukte weist zu einem Stapel (15) angeordnete Platten (20, 21, 22) auf. Diese Platten (20, 21, 22) weisen Ausnehmungen (24, 25) im Millimeter- bis Submillimeterbereich auf, die zusammen einen Hauptkanal (23) zum Abführen des Produkts und Nebenkanäle zum Zuführen der einzelnen Edukte bilden. Diese Kanäle erstrecken sich durch den gesamten Stapel (15). In manchen Platten (20a-d) sind außerdem längliche Ausnehmungen vorhanden, die eine Verbindung zwischen dem Hauptkanal (23) und den Nebenkanälen eines Eduktes bilden. Der Mikromischer kann in der kombinatorischen Chemie für die Erzeugung von Emulsionen und Gasflüssigdispersionen und in der Gasphasenkatalyse im großtechnischen Maßstab wie z. B. der Arzneimittelherstellung verwendet werden.



DE 199 27 556 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen statischen Mikromischer für zwei oder mehr Edukte sowie ein Verfahren zum Mischen zweier oder mehrerer Edukte.

Mikromischer bilden eine Hauptkomponente sogenannter Mikroreaktoren, die über dreidimensionale Mikrostrukturen verfügen, in denen chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Wachsende Bedeutung erlangen die Mikroreaktoren beispielsweise in der kombinatorischen Chemie für die Erzeugung von Emulsionen und Gasflüssigdispersionen und in der Gasphasenkatalyse.

Bei statischen Mischern wird dabei das Mischen durch Aufteilen des Fluides in Teilströme und Wiederzusammenführen der Teilströme bewerkstelligt. Bei dynamischen Mischern hingegen geschieht das Mischen beispielsweise mittels Rührer hauptsächlich über Konvektion. Häufig weisen statische Mikromischer sehr komplexe Mikrostrukturen auf, die leicht beschädigt werden können und sich schlecht reinigen lassen.

Ein statischer Mischer, der einfach und kostengünstig herzustellen ist und sich leicht reinigen läßt, wird in der US-PS 4,514,095 vorgestellt. Der dortige Mischer weist einen röhrenförmigen Behälter mit einer Zu- und einer Ableitungsöffnung in seiner Deckel- bzw. Bodenplatte auf. In diesem röhrenförmigen Behälter sind kreisförmige Mischplatten mit Durchlaßöffnungen übereinandergestapelt. Ein eingeleiteter Eduktstrom, der aus einer beliebigen Anzahl verschiedener Edukte bestehen kann, wird durch eine erste Mischplatte in einen zentralen und mehrere periphere Ströme aufgespalten. In den nächsten Mischplatten werden die vorher gebildeten Peripherströme ohne Veränderung durchgeleitet, während der zentrale Eduktstrom über sternförmig verlaufende Kanäle, die in Richtung Plattenrand verlaufen, und über periphere Durchgangsöffnungen in weitere Peripherströme aufgespalten wird. Die Gesamtheit der Peripherströme wird anschließend wieder zu einem zentralen Strom vereint. Dieser Mischprozeß wird in mehreren Mischzonen nach dem oben beschriebenen Stromverlauf fortgesetzt.

Dieser Mischer hat allerdings einen gravierenden Nachteil: Um einen möglichst homogenen Mischungsgrad zu erreichen, müssen sehr viele Mischzonen hintereinander geschaltet werden. Außerdem hängt der erreichbare Mischungsgrad davon ab, wie gut die Edukte vor der Zuführung schon vorgemischt wurden. Besonders problematisch ist die Situation, wenn zwischen den Edukten unterschiedliche Reaktionen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten nebeneinander ablaufen, vor allem wenn die Diffusionsgeschwindigkeit kleiner als ein oder als mehrere der Reaktionsgeschwindigkeiten ist. Dies kann zu einer Verminderung der Selektivität und damit der Ausbeute führen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Mikromischer bereitzustellen bzw. ein Verfahren durchzuführen, die es erlauben, Edukte in kürzester Zeit möglichst homogen zu mischen, und die es erlauben, auch Reaktionen, deren Reaktionsgeschwindigkeit hoch gegenüber der Diffusionsgeschwindigkeit ist, gezielt ablaufen zu lassen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch einen statischen Mikromischer für  $n$  ( $n \geq 2$ ) Edukte, der ein Gehäuse mit  $n$  Fluidzuführungen und einer Fluidabführung sowie  $n$  oder mehr in Gehäuse zu einem Stapel angeordneter Platten aufweist, wobei die Platten Ausnehmungen im Millimeter- bis Submillimeterbereich aufweisen, die zusammen einen Hauptkanal zum Abführen des Produkts und mindestens  $n$  Nebenkanäle zum Zuführen jedes einzelnen Edukts bilden, die sich durch den gesamten Stapel erstrecken, und wobei in mindestens  $n$  der Platten zur Bildung von Mischplatten für ein Edukt eine

oder mehrere längliche Ausnehmungen im Millimeter- bis Submillimeterbereich vorhanden sind, die sich jeweils von dem Hauptkanal zu dem oder den Nebenkanälen dieses Edukts erstrecken.

Die Aufgabe wird außerdem durch ein Verfahren zum statischen Mischen zweier oder mehrerer Edukte gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, daß aus jedem Edukt mindestens ein Hauptstrom gebildet wird, aus dem mindestens ein Teilstrom abgezweigt wird, und die Teilströme aller Edukte in einem Produktstrom vereinigt werden, wobei die einzelnen Edukteilströme der Reihe nach abwechselnd dem Produktstrom zugeführt werden.

Dieses Verfahren läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung folgendermaßen durchführen:

Jedes Edukt wird dem Mikromischer zugeführt und auf mindestens einen Nebenkanal verteilt. In den Nebenkanälen fließen die Edukthauptströme. An der Stelle eines Nebenkanals, an dem eine Mischplatte eine längliche Ausnehmung aufweist, die sich von genau diesem Nebenkanal zum Hauptkanal erstreckt, wird mindestens ein Teilstrom dieses Eduktes aus dem Hauptstrom abgezweigt und zum Hauptkanal geführt. In dem Hauptkanal fließt der Produktstrom.

Die Fluidschichtdicke oder auch Tröpfchengröße, bei Emulsionen oder Dispersionen, der dem Produktstrom zugeführten Edukte wird hauptsächlich durch die Dicke der Mischplatten bestimmt. Die Lateralabmessungen der Ausnehmungen sind hierfür ohne Belang und vergleichsweise groß. Eine besonders gute und schnelle homogene Vermischung erreicht man nämlich dadurch, daß der Druckabfall der Hauptströme ungefähr gleich dem Druckabfall des Produktstromes ist und dieser klein gegenüber dem Druckabfall der Teilströme ist. Durch diese Maßnahmen und durch das der Reihe nach abwechselnde Zuführen der Edukteilströme werden im Hauptkanal Fluidlamellen geringer Dicke in Strömungsrichtung übereinandergeschichtet, die wegen der geringen Lamellendicken auch bei niedrigeren Diffusionsgeschwindigkeiten sehr schnell ineinanderdiffundieren können. Typische Lamellendicken und damit auch Mischplattendicken liegen zwischen 1 bis 300  $\mu\text{m}$ , vorteilhaft zwischen 5 und 70  $\mu\text{m}$ .

Der Homogenisierungs- und Mischeffekt des Mixers läßt sich durch Verringern der Mischplattendicke noch steigern. Vorteilhaft wird über die Mischplattendicke die Schichtdicke der Teilströme derart eingestellt, daß die Mischung überwiegend durch Diffusion und in geringerem Maße durch Konvektion stattfindet.

Prinzipiell reicht es, für jedes Edukt eine Mischplatte zu haben, aber der Durchsatz bei konstantem Druckverlust wird sehr viel größer, wenn man bis zu mehreren hundert dieser Platten übereinander stapelt. Wegen der geringen Mischplattendicke wird der gesamte Stapel dennoch nur wenige Millimeter hoch. Durch das Verhältnis der Lateralabmessungen der Ausnehmungen zur Dicke der Mischplatten wird außerdem gewährleistet, daß der erfindungsgemäße Mikromischer einen hohen Durchsatz (beispielsweise ca. 5 l/h) bei gleichzeitig geringem Druckabfall (beispielsweise maximal 200 hPa für wäßrige Medien) erlaubt.

Die Strukturen in den Platten lassen sich kostengünstig durch Stanzen, Stanzprägen, Spritzgießen, Ätzen oder Ausschneiden mittels eines Lasers oder auch durch Drahtcodieren im Stapel fertigen.

Um den Durchsatz noch weiter zu erhöhen, kann auch eine größere Anzahl von erfindungsgemäßen Mikromischern parallel geschaltet werden. Durch den sehr hohen Durchsatz erschließen sich dem erfindungsgemäßen Mikromischer zahlreiche Anwendungen in Produktionsprozessen der chemischen Industrie.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den Hauptkanal zen-

tral längs der Stapelachse anzuordnen. Die Nebenkänäle sind dabei außen um den Hauptkanal herum angeordnet. Existieren zu einem Edukt mehrere Nebenkänäle in einer Mischplatte, so werden diese am besten äquidistant zur Hauptleitung angeordnet, um in allen Teilströmen des Edukts einen gleichen Druckabfall zu gewährleisten. Die länglichen Ausnehmungen, in denen die Teilströme fließen, erstrecken sich radial vom Hauptkanal zum jeweiligen Nebkanal.

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn die Anordnung der Ausnehmungen in den einzelnen Mischplatten dreh-symmetrisch zur Stapelachse ist. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf den Druckabfall aus, sondern vereinfacht auch die Herstellung der einzelnen Platten. Denn es können nun baugleiche Einzelplatten verwendet werden, die gegeneinander verdreht die einzelnen Einzelplatten mit unterschiedlichen Edukten versorgen.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind eine oder mehrere die Stirnseiten des Stapels bildenden Platten als Verteilerplatten ausgebildet. Diese eine oder mehreren Verteilerplatten weisen je nach Anzahl der Nebenkänäle für das jeweilige Edukt eine oder mehrere Ausnehmungen auf, die sich von der Fluidzuführung dieses Edukts zu den oder dem Nebenkänälen dieses Edukts erstrecken. Je nach Anzahl der Edukte und Anzahl der Verteilerplatten bzw. je nachdem, ob an der bestimmten Stirnseite des Stapels auch die Fluidabführung für den Produktstrom angeordnet ist, die mit dem Hauptkanal in Verbindung steht, weist eine Verteilerplatte auch weitere Ausnehmungen zur Bildung der Nebenkänäle der übrigen Edukte und/oder des Hauptkanals auf. Die Verteilerplatten tragen dazu bei, die Edukte gleichmäßig und mit möglichst geringem Druckverlust von den Fluidzuführungen auf die Nebenkänäle zu verteilen sowie das Mischprodukt zur Vermeidung von Folgereaktionen möglichst schnell und frei von Totvolumen abzuführen.

Eine möglichst gleichmäßige Eduktverteilung kann erreicht werden, wenn die fluidischen Widerstände in den Ausnehmungen der Verteilerplatten klein gegenüber den fluidischen Widerständen in den länglichen Ausnehmungen der Mischplatten sind. Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, daß die Plattendicke der Verteilerplatten groß gegenüber der Plattendicke der Mischplatten ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist zwischen mindestens zwei Mischplatten eine Zwischenplatte angeordnet, die für jeden Nebkanal und den Hauptkanal genau eine Ausnehmung aufweist. Bevorzugterweise befindet sich zwischen allen Mischplatten eine solche Zwischenplatte. Durch das Einfügen der Zwischenplatte durchläuft der Produktstrom einen kurzen Abschnitt des Hauptkanals, in dem die sich schon im Produktstrom befindlichen Edukte vermischen können, bevor das nächste Edukt zugeführt wird.

Vorzugsweise weist in der Zwischenplatte die Ausnehmung für den Hauptkanal eine geringere Querschnittsfläche auf als die entsprechende Ausnehmung in der in Strömungsrichtung davor angeordneten Mischplatte. Dadurch wird erreicht, daß das Edukt gleichmäßig über den Umfang des Hauptkanals verteilt ist. Da die in Strömungsrichtung folgenden Mischplatten die Edukte in der Plattenebene um einen Winkel versetzt zuführen, besteht die Gefahr, daß sich die Edukte in axialen Streifen (wie bei Zahnpasta) aneinanderlagern. Durch das Einfügen einer Zwischenplatte mit engerer Hauptkanalausnehmung wird gewährleistet, daß erst die Teilströme zusammenfließen und sich dann das Edukt von allen Seiten gleichmäßig auf die kleinere Ausnehmung in der Zwischenplatte zu bewegt und dabei eine über den Umfang der Ausnehmung gleichmäßige Strömung entwickelt.

Am günstigsten für die Druck- und Strömungsverhältnisse ist es, wenn die Plattendicke der Zwischenplatten den Plattendicken der Mischplatten entsprechen. Außerdem wird dadurch vermieden, daß die Abmessungen des Mikromischers zu groß werden.

Durch gedankliches Verschmelzen von Misch- und Zwischenplatte entsteht eine Kombiplatte, die Durchbrüche für Haupt- und Nebenkänäle, aber nicht durchgehende längliche Ausnehmungen (Senkungen) zwischen dem Hauptkanaldurchbruch und den Nebkanaldurchbrüchen aufweist. Hierfür besonders geeignete Herstellungsverfahren sind das Stanzprägen oder das Spritzgießen.

In einer besonderen Ausgestaltung einer Kombiplatte zweigen vom Nebkanaldurchbruch zwei oder mehr längliche Ausnehmungen ab, so daß aus dem Hauptstrom des Edukts zwei oder mehr Teilströme abgezweigt und dem Hauptkanal zugeführt werden. Es ist auch denkbar, daß die den Nebkanaldurchbruch mit dem Hauptkanaldurchbruch verbindende Ausnehmung in der Art der Bifurkationskaskade ausgebildet ist. Hierbei wird ein Teilstrom vom Hauptstrom des Edukts abgezweigt und in  $2^n$  Teilströme ( $n$  = Anzahl der Stufen der Bifurkationskaskade) aufgeteilt. Hierdurch weisen die so erhaltenen Teilströme, die dem Produktstrom zugeführt werden, identische Volumenströme auf.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird eines der Edukte dem Stapel radial von außen zugeführt. Dabei werden die zu diesem Edukt gehörenden Nebenkänäle als Aussparungen am Rand der Platte ausgebildet. Eine Ausnahme bilden dabei die Mischplatte, die die Teilströme dieses Edukts führen. Bei diesen Mischplatten und allen anderen Ausnehmungen handelt es sich sonst bevorzugt um Durchbrechungen.

Diese Ausführungsform eignet sich besonders gut für die Vermischung von zwei Edukten. In diesem Fall ist die Fluidabführung für den Produktstrom an einer Stirnseite des Stapels angeordnet, die Zuführung für das eine Edukt an der anderen Stirnseite angeordnet und die Zuführung für das zweite Edukt seitlich am Gehäuse angeordnet. Ein zwischen der Gehäuseinnenwand und der Stapelaußenwand befindlicher Hohlraum wird vollständig von diesem zweiten Edukt ausgefüllt und daher das zweite Edukt von allen Seiten dem Stapel zugeführt.

Für die Verwendung des erfindungsgemäßen Mikromischers für stark exotherme oder endotherme Reaktionen ist es vorteilhaft, wenn in ihm ein Wärmetauscher integriert ist. Dazu können entweder die Platten zusätzliche Ausnehmungen aufweisen, um Kühl- oder Heizrohre aufzunehmen. Man kann ein solches Kühl- oder Heizrohr auch zentral im Hauptkanal anordnen, so daß der Produktstrom um dieses Heiz- oder Kühlrohr herumgeführt wird. Die Platten können auch gegeneinander, beispielsweise durch Diffusionslöten oder Diffusionsschweißen, abgedichtet werden, so daß auf Rohre verzichtet werden kann und die Kühl- oder Heizflüssigkeit direkt durch die zusätzlichen Ausnehmungen geführt werden kann.

Die vorliegende Erfindung soll anhand der beigelegten Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen

**Fig. 1** Mischplatten für zwei Edukte,

**Fig. 2** Mischplatten für vier Edukte,

**Fig. 3a** eine Explosionsdarstellung eines Mikromischers für zwei Edukte mit den Einzelkomponenten im Schnitt,

**Fig. 3b-h** die Einzelkomponenten des Mikromischers aus **Fig. 3a**,

**Fig. 4a** ein erstes Beispiel für eine Kombiplatte, und

**Fig. 4b** ein zweites Beispiel für eine Kombiplatte.

In **Fig. 1** ist ein Stapel **15** aus Mischplatten **20a, b** für zwei Edukte A, B dargestellt. Diese Mischplatten **20a, b** weisen für das Edukt A drei Ausnehmungen **24a** und für das Edukt

B drei Ausnehmungen **24b** auf. Die Ausnehmungen **24a**, **b** eines Eduktes sind jeweils auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet. Die beiden Dreiecke sind durch gestrichelte Linien angedeutet. Beide Dreiecke sind gegeneinander um  $60^\circ$  verdreht. Daher liegen alle Ausnehmungen **24a**, **b** auf einem Kreis (angedeutet durch eine gepunktete Linie), in dessen Mittelpunkt der Hauptkanal **23** angeordnet ist. Über den Hauptkanal **23** fließt das Mischprodukt ab.

Außer den Ausnehmungen **24a**, **b** und dem Hauptkanal **23** weist jede Mischplatte **20a**, **b** drei längliche Ausnehmungen **25** auf. Diese länglichen Ausnehmungen **25** erstrecken sich von den die Nebenchkanäle eines Eduktes bildenden Ausnehmungen **24a** oder **24b** radial nach innen zum Hauptkanal **23**, wobei die Bereiche der länglichen Ausnehmungen **25** im Zentrum der Mischplatten **20a**, **b** den Hauptkanal bilden. Die Anordnung der Ausnehmungen **24a**, **b**, **23**, **25** ist daher drehsymmetrisch um  $120^\circ$  zur Längsachse des Stapels **15**, die längs des Hauptkanals **23** verläuft. Die Mischplatten **20a** und **20b** sind also baugleich. Sie sind allerdings alternierend um  $180^\circ$  gegeneinander verdreht übereinander angeordnet. Dadurch ergibt sich, daß jeweils die die Nebenchkanäle des einen und des anderen Eduktes formenden Ausnehmungen **24a** und **24b** deckungsgleich übereinander liegen und auch die den Hauptkanal **23** bildenden Bereiche der Ausnehmungen **25** übereinander liegen. Außerdem sind die länglichen Ausnehmungen **25** dadurch derart angeordnet, daß in den Mischplatten **20a** das Edukt A aus den Nebenchkanälen **24a** zum Hauptkanal **23** geführt wird, in den Mischplatten **20b** hingegen wird das Edukt B von den Nebenchkanälen **24b** zum Hauptkanal **23** geführt.

Dadurch werden in dem Hauptkanal **23** dünne Fluidlamellen, deren Dicke von der Mischplattendicke bestimmt wird, eines jeden Eduktes übereinandergeschichtet. Die Mischplattendicke wird so gering gewählt, vorzugsweise zwischen 5 und 70  $\mu\text{m}$ , daß die beiden Edukte A und B sich mit einer Geschwindigkeit durch Diffusion mischen können, die höher als die Reaktionsgeschwindigkeit der gewünschten Reaktion zwischen den Edukten A und B liegt. Bei der Herstellung von Emulsionen oder Dispersionen hat dies den Vorteil kleinster Tröpfchengrößen bei homogener Größenverteilung.

In **Fig. 2** ist ein weiterer Stapel **15** dargestellt, der aus Mischplatten **20a–d** aufgebaut ist, die nun für vier Edukte A bis D ausgelegt sind. Dabei wurde analog zum in **Fig. 1** dargestellten Beispiel vorgegangen. Für jedes Edukt A bis D gibt es drei Nebenchkanäle **24a–d**. Diese Nebenchkanäle **24a–d** sind wiederum auf einem Kreis angeordnet, in dessen Mittelpunkt sich der Hauptkanal **23** befindet. Die Anordnung der Ausnehmungen ist wieder drehsymmetrisch um  $120^\circ$  zur Achse längs des Hauptkanals **23**. Die einzelnen Mischplatten **20a–20d** sind auch wieder baugleich, aber jeweils um  $90^\circ$  gegeneinander verdreht übereinander angeordnet. Daher sind die länglichen Ausnehmungen **25**, die die Nebenchkanäle **24a–d** jeweils eines Eduktes A bis D mit dem Hauptkanal **23** verbinden, derart angeordnet, daß in den Platten **20a** das Edukt A zum Hauptkanal **23** geführt wird, in den Mischplatten **20b** das Edukt B zum Hauptkanal **23** geführt wird, usw.. Die Mischplatten **20a–d** sind der Reihe nach alternierend übereinander angeordnet (a, b, c, d, a, b, c, d, a, b, c, d). Dadurch wird ein möglichst homogener Produktstrom erreicht. Durch die äquidistante Anordnung der Nebenchkanäle **24a–d** zum Hauptkanal **23** ist der Druckabfall der Teilströme der Edukte in allen länglichen Ausnehmungen **25** gleich, was ebenfalls zu einer homogenen Vermischung beiträgt.

In **Fig. 3a** ist eine Explosionsdarstellung eines Mikromischers dargestellt, der für zwei Edukte A, B ausgelegt ist, wobei das Edukt B radial zum Stapel **15** zugeführt wird und

das Edukt A an der linken Stirnseite des Stapels **15** zentral zugeführt wird.

Der Mikromischer besteht aus den folgenden Komponenten, die in den **Fig. 3b–h** auch einzeln dargestellt sind: einem Gehäuse **10** (**Fig. 3g**), zwei Dichtungsringen **33**, von denen der eine zwischen der Verteilerplatte **21** und dem Gehäuse **10** angeordnet ist und der andere zwischen dem Gehäuse **10** und der Abdeckplatte **11** angeordnet ist, einer Verteilerplatte **21** (**Fig. 3h**), Mischplatten **20a**, **b** (**Fig. 3d**, **f**), Zwischenplatten **22** (**Fig. 3e**) und der Abdeckplatte **11** (**Fig. 3b**). Zusätzlich sind drei Justierstäbe **31** dargestellt (die beiden unteren liegen zeichnerisch übereinander), die zum Zusammenbauen des Mischers benötigt werden.

Das Gehäuse **10** ist als ein nach einer Seite offener Quader ausgebildet. Er ist innen hohl, wobei das entfernte Volumen die Form eines Zylinders hat. Der Hohlraum ist derart im Gehäuse angeordnet, daß eine Stirnseite des entfernten Zylinders der offenen Seite des Quaders entspricht. An der gegenüberliegenden Seite befindet sich die Fluidzuführung **12a** für das Edukt A. An einer der vier weiteren Seiten ist die Fluidzuführung **12b** für das Edukt B angeordnet. Das Edukt B wird also radial zum zylindrischen Hohlraum zugeführt. Beide Fluidzuführungen **12a**, **b** sind in etwa in der Mitte der jeweiligen Quaderseite angeordnet. Wie weiter unten gezeigt werden wird, haben alle Platten im wesentlichen eine kreisförmige Grundfläche. Der aus ihnen zusammengesetzte Stapel hat also zylindrische Form und kann in den Hohlraum des Gehäuses eingesetzt werden. Da das Edukt B radial zugeführt wird, muß zwischen dem Stapel **15** und der Innenwand des Gehäuses **10** ein ringförmiger Raum vorhanden sein, damit sich das Edukt B gleichmäßig um den ganzen Zylinder herum verteilen kann.

Das Gehäuse **10** weist außerdem Bohrungen **34** auf, die, ebenso wie die Fluidzuführung **12a**, **b**, mit einem Gewinde versehen sind, so daß Eduktleitungen an das Gehäuse **10** geschraubt werden können. Diese Bohrungen **34** erstrecken sich durch das gesamte Gehäuse **10** und dienen dazu, die Abdeckplatte **11** an dem Gehäuse festzuschrauben. Die Bohrungen **34** sind in den vier Ecken des Gehäuses **10** parallel zur Zylinderachse bzw. der Stapelachse angeordnet.

In das Gehäuse **10** werden als erstes ein Abdichtring **33** und die Verteilerplatte **21** eingeführt. Die Verteilerplatte **21** weist eine kreisförmige Vertiefung **26** auf, auf deren Umfang sechs Ausnehmungen **24a** angeordnet sind, die mit den entsprechenden Ausnehmungen in den übrigen Platten die Nebenchkanäle für das Edukt A bilden. Die Vertiefung **26** ist auf der der Fluidzuführung **12a** zugewandten Seite angeordnet, so daß sich eine kleine Sammelkammer für das Edukt A bildet, aus dem das Edukt A in die Nebenchkanäle **24a** einströmt.

Zum einfacheren Übereinanderstapeln der Platten werden nun in drei der Ausnehmungen **24a** der Verteilerplatte **21** jeweils ein Justierstift **31** gesteckt. Die übrigen Platten **20a**, **b**, **22** werden auf diese Justierstifte aufgesteckt. Als letztes werden der zweite Abdichtring **33** und die Abdeckplatte **11** auf die Justierstifte aufgesteckt und der gesamte Stapel zusammengedrückt, bis sich die Abdeckplatte **11** mit dem Gehäuse **10** zusammenschrauben läßt. Zu diesem Zweck sind in der Abdeckplatte **11** zum einen in den vier Ecken Bohrungen **34** vorgesehen, die die durch das Gehäuse **10** gesteckten Schrauben aufnehmen können, und zum anderen die Bohrungen **32**, durch die die Justierstifte hindurchgeführt werden können. Außerdem weist die Abdeckplatte **11** in ihrer Mitte die Fluidabführung **13** für den Produktstrom auf. Die Bohrungen **32** sowie die Fluidabführung **13** sind mit Gewinde versehen. Nach Entfernen der Justierstifte werden die Bohrungen **32** mit Schrauben verschlossen. An die Fluidabführung **13** kann eine Produktleitung geschraubt werden.

Innerhalb des Stapels **15** finden sich neben der Verteilerplatte **21** drei weitere Plattentypen: die Zwischenplatten **22**, die Mischplatten **20a** und die Mischplatten **20b**. Die Zwischenplatten **22** weisen für das Edukt A sowie für den Hauptkanal kleine kreisförmige Ausnehmungen **24a**, **23** auf, wobei die sechs Ausnehmungen **24b** auf einem Kreis angeordnet sind, in dessen Mittelpunkt die Ausnehmung **23** für den Hauptkanal liegt. Für die Nebenkanäle für das Edukt B weisen die Zwischenplatten **22** zwischen den Ausnehmungen **24a** V-förmige Aussparungen **24b** am Rande der Zwischenplatte **22** auf. Auch diese Aussparungen **24b** liegen auf dem Kreis, auf dem auch die Ausnehmungen **24a** für die Nebenkanäle für das Edukt A liegen.

V-förmige Aussparungen am Rande der Platte zur Bildung der Nebenkanäle für das Edukt B weisen auch die Mischplatten **20a** auf. Außerdem weisen sie sechs längliche Ausnehmungen **25** auf, die das Edukt A zum Hauptkanal **23** führen. Die sechs länglichen Ausnehmungen **25** bilden zusammen eine sternförmige Ausnehmung. Die V-förmigen Aussparungen **24b** sind zwischen den Sternspitzen angeordnet.

Eine ebensolche sternförmige Ausnehmung findet man auch bei den Mischplatten **20b**, bei denen durch die sternförmige Ausnehmung das Edukt B zum Hauptkanal **23** geführt wird. Bei den Mischplatten **20b** sind keine V-förmigen Aussparungen zwischen den Sternspitzen angeordnet, sondern kreisförmige Bohrungen **24a**, die die Nebenkanäle für das Edukt A bilden.

Die den Hauptkanal **23** bildende Ausnehmung der Zwischenplatten **22** weist eine viel geringere Querschnittsfläche auf als die sternförmigen Ausnehmungen **23** der Mischplatten **20a**, **b**. Dadurch wird gewährleistet, daß erst die Teilströme des jeweiligen Edukts zusammenfließen und dann sich das Edukt von allen Seiten gleichmäßig auf die kleinere Ausnehmung in der Zwischenplatte zubewegt und dabei eine über den Umfang der Ausnehmung gleichmäßige Strömung entwickelt. Dadurch wird verhindert, daß die Edukte sich im Hauptkanal in axialen Streifen aneinanderlegen.

In **Fig. 4a** ist eine einstückige Kombiplatte **35a** dargestellt, die die Struktur und Funktion sowohl einer Mischplatte **20b** als auch einer Zwischenplatte **22** aufweist. Die Durchbrüche **24a**, **b** für die Nebenkanäle sowie **23** für den Hauptkanal sind durchgehend, die Senkungen **36** für die länglichen Ausnehmungen **25** nicht durchgehend.

Gleiches gilt für die Kombiplatte **35b** in **Fig. 4b**, die aus der gedanklichen Verschmelzung von Mischplatte **20a** und Zwischenplatte **22** entsteht. Gegenüber der Kombiplatte **35a** sind nun die Durchbrüche **24b** zu V-förmigen Aussparungen **24c** vergrößert, um das Edukt B radial von außen zuführen zu können.

#### Patentansprüche

1. Statischer Mikromischer für  $n, n \geq 2$  Edukte, der ein Gehäuse **(10)** mit mindestens  $n$  Fluidzuführungen **(12a, b)** und einer Fluidabführung **(13)** sowie  $n$  oder mehr im Gehäuse **(10)** zu einem Stapel **(15)** angeordnete Platten **(20, 21, 22)** aufweist, wobei die Platten **(20, 21, 22)** Ausnehmungen **(24, 25)** im Millimeter bis Submillimeterbereich aufweisen, die zusammen einen Hauptkanal **(23)** zum Abführen des Produktes und mindestens  $n$  Nebenkanäle zum Zuführen jedes einzelnen Edukts bilden, die sich durch den gesamten Stapel **(15)** erstrecken, und wobei in mindestens  $n$  Platten **(20a-d)** zur Bildung von Mischplatten **(20a-d)** für je ein Edukt eine oder mehrere längliche Ausnehmungen **(25)** im Millimeter- bis Submillimeterbereich vorhanden sind, die sich jeweils von dem Hauptkanal **(23)** zu dem oder

den Nebenkanälen dieses Edukts erstrecken.

2. Mikromischer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Hauptkanal **(23)** zentral längs der Stapelachse angeordnet ist und die Nebenkanäle außen um den Hauptkanal **(23)** herum angeordnet sind.

3. Mikromischer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung der Ausnehmungen **(24, 25)** drehsymmetrisch zur Stapelachse ist.

4. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einer Stirnseite des Stapels **(15)** mindestens eine als Verteilerplatte **(21)** ausgebildete Platte **(21)** im Stapel **(15)** angeordnet ist, die eine oder mehrere Ausnehmungen **(24, 26)** aufweist, die sich von der Fluidzuführung **(12)** eines Edukts zu dem oder den Nebenkanälen dieses Edukts erstrecken, und gegebenenfalls weitere Ausnehmungen zur Bildung der Nebenkanäle der übrigen Edukte und/oder des Hauptkanals **(23)** aufweist.

5. Mikromischer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verteilerplatte **(21)** bzw. Verteilerplatten **(21)** sowie die darin befindlichen Ausnehmungen **(24, 25)** so ausgestaltet sind, daß der zugehörige Druckabfall kleiner als der Druckabfall in den länglichen Ausnehmungen **(25)** der Mischplatten **(20)** ist.

6. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen mindestens zwei Mischplatten eine Zwischenplatte **(22)** angeordnet ist, die für jeden Nebenkanal und den Hauptkanal **(23)** genau eine Ausnehmung **(24)** aufweist.

7. Mikromischer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Zwischenplatte **(22)** die Ausnehmung für den Hauptkanal **(23)** eine geringere Querschnittsfläche aufweist als die entsprechende Ausnehmung in der in Strömungsrichtung davor angeordneten Mischplatte **(20)**.

8. Mikromischer nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Plattendicke der Zwischenplatte **(22)** bzw. Zwischenplatten **(22)** der Plattendicke der Mischplatten entspricht.

9. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß von außen die den oder die Nebenkanäle eines Edukts bildenden Ausnehmungen **(24b)** als Aussparungen am Rand der Platten **(20a, 22)** ausgebildet sind, mit Ausnahme der Mischplatte **(20b)** bzw. Mischplatten, deren längliche Ausnehmung **(25)** bzw. Ausnehmungen sich zu dem oder den Nebenkanälen eben dieses Edukts erstrecken, und die Fluidzuführung **(12b)** für dieses Edukt im Gehäuse **(10)** radial zum Stapel **(15)** angeordnet ist.

10. Mikromischer nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenplatte **(22)** und die in Strömungsrichtung davor angeordnete Mischplatte **(20a, 20b)** zusammen als eine einstückige Kombiplatte **(35a, 35b)** ausgeführt sind, die zur Ausbildung des Hauptkanals **(23)** und der Nebenkanäle Durchbrechungen **(24a, 24b)** und zur Ausbildung der länglichen Ausnehmungen **(25)** Senkungen **(36)** aufweist.

11. Mikromischer nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in ihm ein Wärmetauscher integriert ist.

12. Verfahren zum statischen Mischen zweier oder mehrerer Edukte, dadurch gekennzeichnet, daß aus jedem Edukt mindestens ein Hauptstrom gebildet wird, aus dem mindestens ein Teilstrom abgezweigt wird, und die Teilströme aller Edukte in einem Produktstrom vereinigt werden, wobei die einzelnen Edukteilströme der Reihe nach abwechselnd dem Produktstrom zuge-

führt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsgeometrien des Hauptstroms, des Produktstroms und der Teilströme derart bemessen sind, daß der Druckabfall des Hauptstroms 5 ungefähr gleich dem des Produktstroms und klein gegenüber dem Druckabfall der Teilströme ist.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



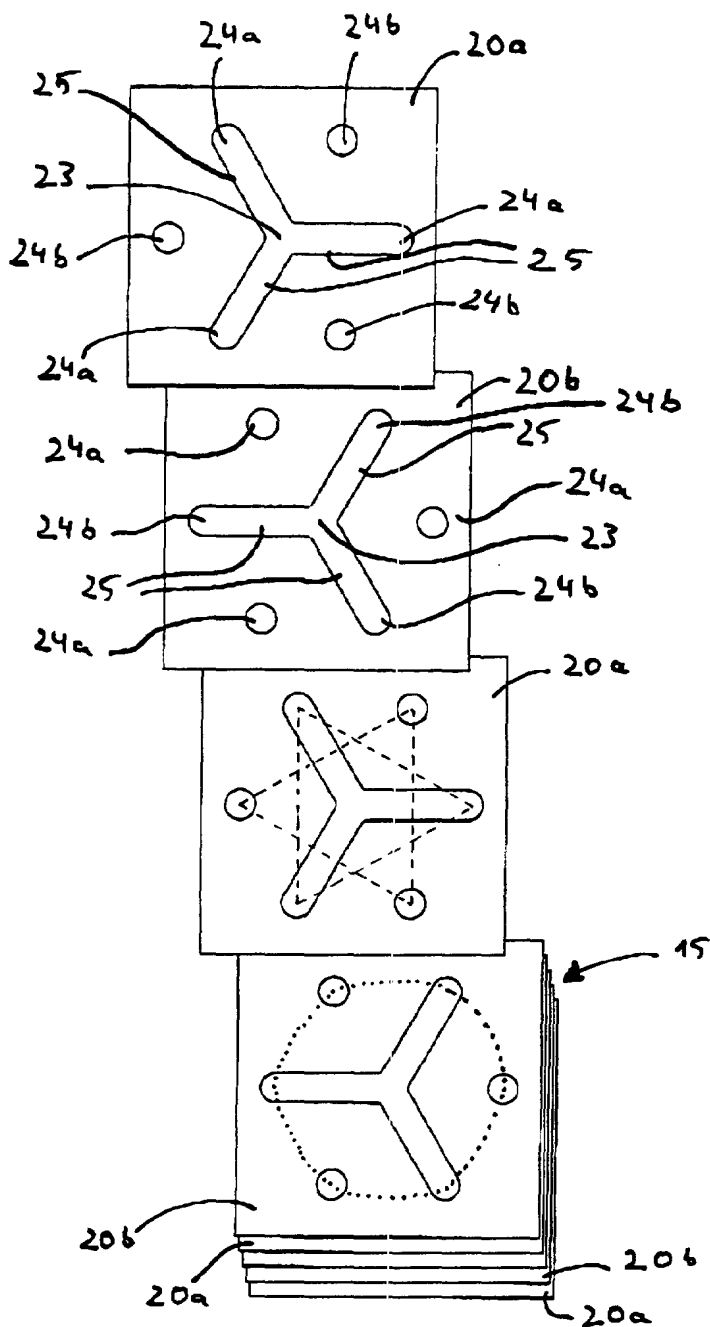


Fig. 1

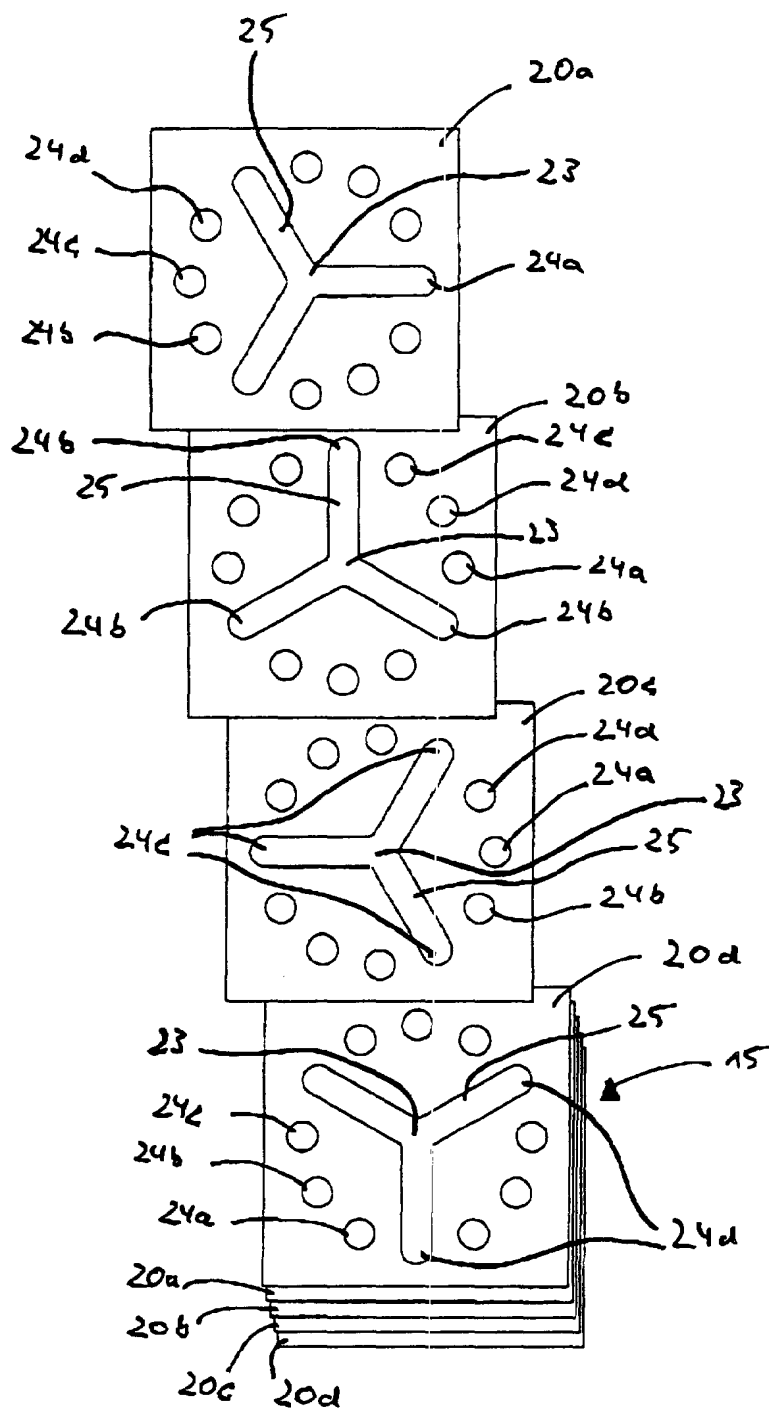
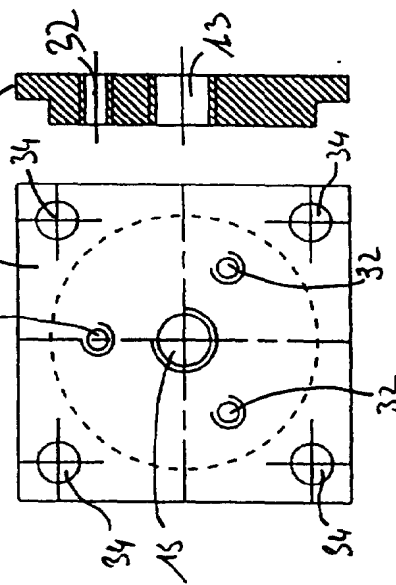
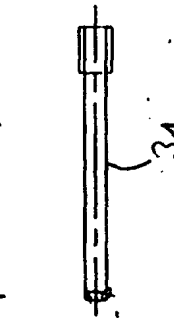
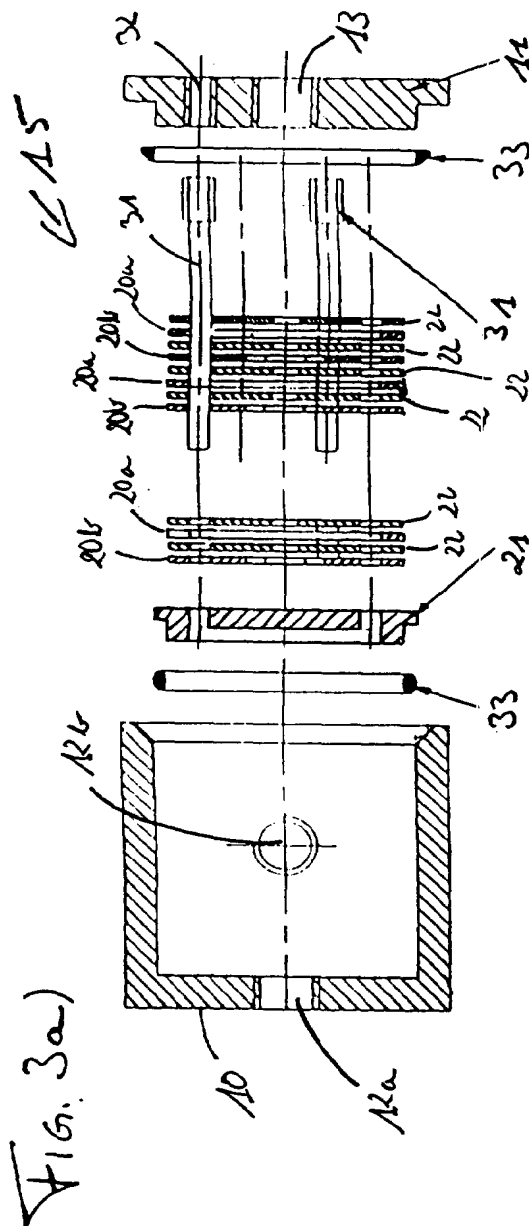


Fig. 2



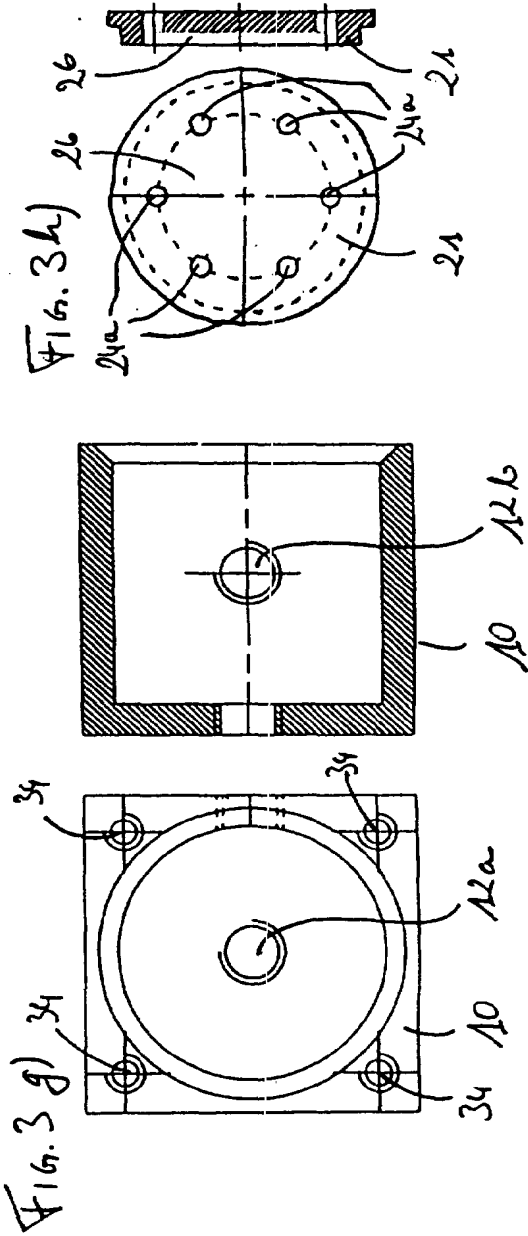
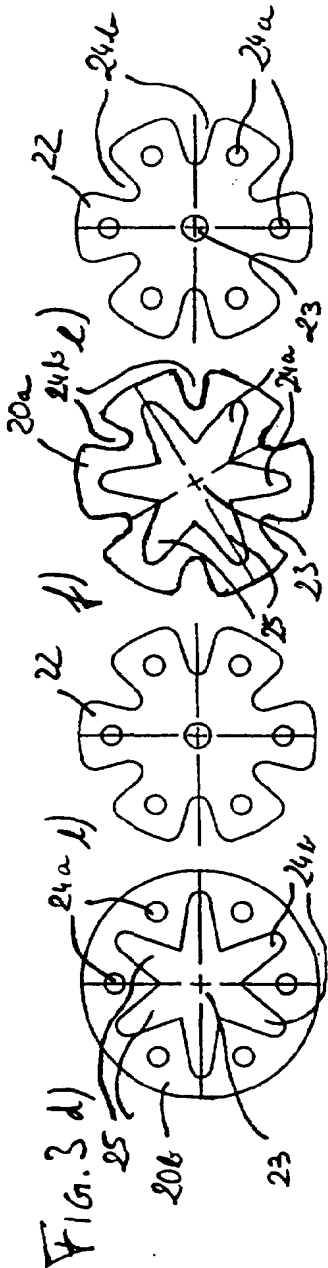


Fig 4a)

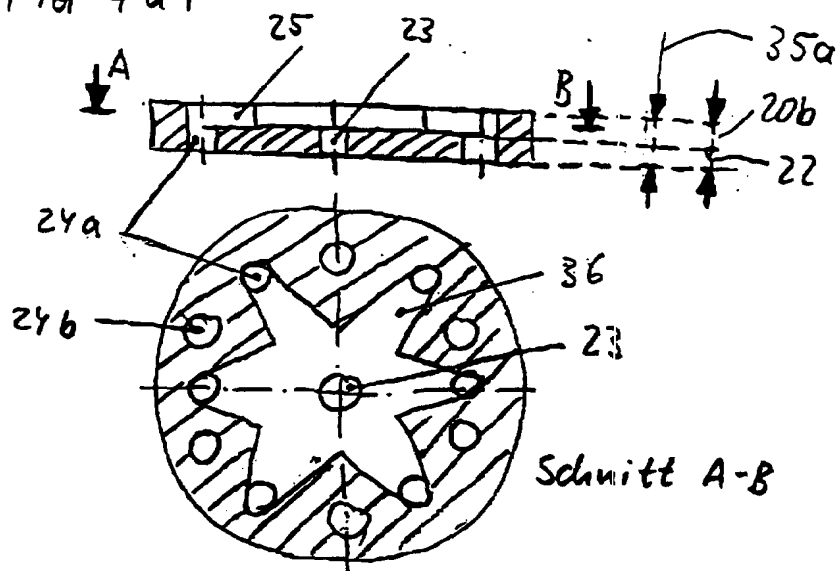


Fig 4b)

